

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-283767

(43)Date of publication of application : 13.10.2000

(51)Int.Cl.

G01C 19/56
G01P 9/04

(21)Application number : 11-093341

(71)Applicant : MURATA MFG CO LTD

(22)Date of filing : 31.03.1999

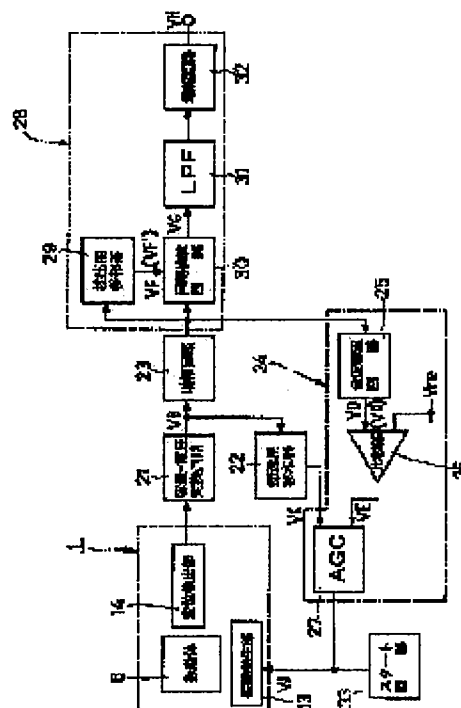
(72)Inventor : SHIBANO TOMIO

(54) ANGULAR VELOCITY MEASURING APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To vibrate a vibrator always in a resonance state at a fixed vibration amplitude to stabilize the detecting sensitivity of the angular velocity.

SOLUTION: A displacement signal VB outputted through a displacement detector 14 and a capacitance-voltage converter circuit 21 is inputted to a feedback phase shifter 22, the shifter 22 outputs a correction signal VC to an AGC 27 so that a phase difference of the signal VB from a drive signal VA is approximately -90° , and a feedback amplifier 24 controls the amplitude of the drive signal VA so that the vibration amplitude of a vibrator 6 is constant and outputs the drive signal VA to a vibration generator 13 whereby the vibrator 6 can be vibrated in a resonance state at a fixed vibration amplitude to stabilize the detection sensitivity of the angular velocity even when the ambient temp. changes.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-283767
(P2000-283767A)

(43)公開日 平成12年10月13日(2000. 10. 13)

(51)Int.Cl.⁷

G 0 1 C 19/56

G 0 1 P 9/04

識別記号

F I

C 0 1 C 19/56

C 0 1 P 9/04

データベース*(参考)

2 F 1 0 5

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平11-93341

(22)出願日 平成11年3月31日(1999. 3. 31)

(71)出願人 000006231

株式会社村田製作所

京都府長岡京市天神二丁目26番10号

(72)発明者 柴野 富雄

京都府長岡京市天神二丁目26番10号 株式
会社村田製作所内

(74)代理人 100079441

弁理士 広瀬 和彦

Fターム(参考) 2F105 BB04 BB09 CC04 CD03 CD05

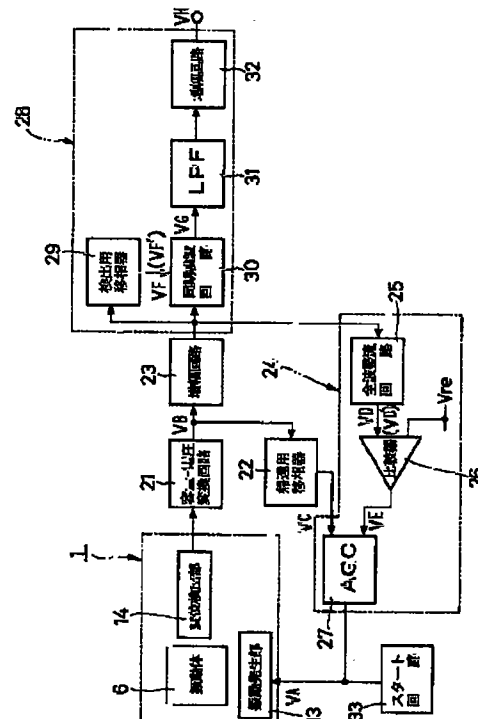
CD11

(54)【発明の名称】 角速度計測装置

(57)【要約】

【課題】 振動体を常に共振状態でしかも一定の振動幅で振動させ、角速度の検出感度を安定させる。

【解決手段】 帰還用移相器22には、変位検出部14、容量-電圧変換回路21を通して出力される変位信号VBを入力する。このとき、この帰還用移相器22は、駆動信号VA に対する変位信号VB の位相差がほぼ(-90°)になる補正信号VC をAGC27に出力する。また、帰還増幅部24は、振動体6の振動幅が一定になるように駆動信号VA の振幅を制御し、この駆動信号VA を振動発生部13に出力する。これにより、振動体6を共振状態でしかも一定の振動幅で振動させることができ、周囲温度が変化した場合でも、角速度の検出感度を安定させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 駆動信号を受けることにより直交する3軸のうち第1の軸方向に振動し、この状態で第3の軸回りに角速度が加わったとき第2の軸方向に振動する振動体と、該振動体の振動を検出して変位に応じた変位信号を出力する信号出力手段と、前記振動体を共振状態で振動させるため、駆動信号に対する該信号出力手段から出力される変位信号の位相差を補正し補正信号を出力する位相補正手段と、前記振動体が第1の軸方向に振動するときの振動幅を一定にするため、該位相補正手段から出力された補正信号を増幅することによって得られた駆動信号を前記振動体に出力する帰還増幅手段とによって構成してなる角速度計測装置。

【請求項2】 前記位相補正手段から出力される補正信号は、前記振動体を第1の軸方向に共振状態で振動させるため、前記駆動信号に対する変位信号の位相差をほぼ (-90°) の基準位相差に設定してなる請求項1記載の角速度計測装置。

【請求項3】 前記振動体は、第1の軸方向に共振状態で振動する振動側固有振動数と、第2の軸方向に共振状態で振動する検出側固有振動数とを有し、前記位相補正手段から出力される補正信号は、前記振動体を第2の軸方向に共振状態で振動させるため、振動側固有振動数が検出側固有振動数に等しいときには前記位相差をほぼ (-90°) の基準位相差に設定し、振動側固有振動数が検出側固有振動数よりも高いときには前記位相差を $(-90^\circ + \alpha^\circ)$ の基準位相差に設定し、振動側固有振動数が検出側固有振動数よりも低いときには前記位相差を $(-90^\circ - \alpha^\circ)$ の基準位相差に設定してなる請求項1記載の角速度計測装置。

【請求項4】 前記帰還増幅手段は、前記信号出力手段から出力される変位信号を整流した整流信号を出力する整流手段と、該整流手段から出力される整流信号と予め設定された基準信号とを比較し、これらの信号に対応した増幅率制御信号を出力する制御信号出力手段と、該制御信号出力手段から出力される増幅率制御信号を受けて増幅率を制御し、前記位相補正手段から出力される補正信号の振幅を調整した駆動信号を出力する増幅制御手段とから構成してなる請求項1、2または3記載の角速度計測装置。

【請求項5】 前記信号出力手段の次段には、該信号出力手段から出力される変位信号を同期検波することにより変位信号中の角速度に応じた角速度信号のみを出力する角速度信号出力手段を設ける構成としてなる請求項1、2、3または4記載の角速度計測装置。

【請求項6】 前記信号出力手段から出力される変位信号は、第1の軸方向に振動するときの前記振動体の変位に対応したモニタ信号と、第2の軸方向に振動するとき

の振動体の変位に対応した角速度信号とを含んでなる請求項1、2、3、4または5記載の角速度計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば移動する物体、回転体等に作用する角速度を検出するのに用いて好適な角速度計測装置に関する。

【0002】

【従来の技術】一般に、従来技術による角速度計測装置に用いられる角速度検出器としては、基台と、該基台に連結された支持梁によって支持され、直交する3軸のうち第1、第2の軸方向に振動可能に設けられた振動体と、駆動信号を受けて該振動体を第1の軸方向に振動させる振動発生手段と、該振動発生手段によって振動体を第1の軸方向に振動させた状態で、第3の軸回りに角速度が加わったときに第2の軸方向に振動する振動体の変位を検出する信号出力手段とによって構成したものが知られている（例えば、特開平6-123632号公報等）。

【0003】また、前記基台はガラス材料により基板として形成され、該基板上に位置した支持梁、振動体はシリコン材料によって形成されている。

【0004】さらに、振動体を第1の軸方向に変位させる支持梁と振動体とは、第1の軸方向へ振動する振動系を構成し、この振動系は振動側固有振動数を有している。一方、振動体を第2の軸方向に変位させる支持梁と振動体とは、第2の軸方向へ振動する検出系を構成し、この検出系は検出側固有振動数を有している。

【0005】ここで、この角速度検出器は、外部の発振回路から出力された駆動信号を振動発生手段で受け、該振動発生手段により振動体を基板に対して平行な第1の軸方向に振動させる。この状態で、第3の軸回りに角速度が加わると、この角速度に応じたコリオリ力によって、振動体は第2の軸方向に振動する。そして、信号出力手段は、この振動体が第2の軸方向へ振動するときの変位を検出することにより、第3の軸回りに加わる角速度を検出する。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述した従来技術による角速度検出器は、その検出精度を高めるため、振動系の振動側固有振動数と、検出系の検出側固有振動数とを近づけるように設計し、駆動信号の周波数を例えば振動側固有振動数に近い周波数に設定している。これにより、振動体は、第1の軸方向に共振状態で振動し、該振動体の振動幅を大きくしている。

【0007】また、ばね振動における固有振動数 f は、一般に下記の数1によって定義されている。

【0008】

【数1】

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M}}$$

k：支持梁のばね定数

M：振動体の質量

【0009】ここで、従来技術による角速度検出器は、基板をガラス材料によって形成し、該基板上に設けられた支持梁、振動体をシリコン材料によって形成しているため、両材料は異なった熱膨張率を持っている。これにより、周囲温度が上昇した場合、例えば基板に固定された支持梁の部分は、基板側の伸びと、支持梁、振動体等の伸びとに差が発生する。

【0010】そして、基板側のガラス材料の熱膨張率がシリコンよりも大きい場合には、基板の伸びが大きくなり、支持梁には引張り応力が加わり、支持梁のばね定数が高くなって、固有振動数が高くなる。

【0011】この結果、角速度検出器は、周囲温度の変化により駆動信号の周波数と振動側固有振動数との差が大きくなり、第1の軸方向に振動する振動体の振動幅が小さくなってしまふ。このため、角速度検出器は、角速度の検出感度がばらついてしまひ、信頼性を低下させてしまふという問題があった。

【0012】また、従来技術による角速度検出器は、発振回路から振動発生手段に付加される駆動信号の周波数を振動側固有振動数に近い周波数に設定し、この駆動信号を用いて振動体を共振状態で振動させている。これにより、小さな振動の駆動信号を用いても、振動体を大きく振動させることができる。

【0013】しかし、発振回路を構成する電子部品は温度特性をもっているため、周囲温度の変化により、該発振回路から出力される駆動信号の周波数が変化することがある。このため、駆動信号の周波数と振動側固有振動数との差が大きくなり、振動体の振動幅が小さくなることがある。これにより、角速度計測装置は、角速度の検出感度が低下してしまふという問題がある。

【0014】本発明は上述した従来技術の問題に鑑みなされたもので、本発明は振動体を常に共振状態で振動させることにより検出感度のばらつきをなくし、信頼性を高めることができる角速度計測装置を提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】上述した課題を解決するために、請求項1の発明による角速度計測装置は、駆動信号を受けることにより直交する3軸のうち第1の軸方向に振動し、この状態で第3の軸回りに角速度が加わったとき第2の軸方向に振動する振動体と、該振動体の振動を検出して変位に応じた変位信号を出力する信号出力手段と、前記振動体を共振状態で振動させるため、駆動信号に対する該信号出力手段から出力される変位信号の位相差を補正し補正信号を出力する位相補正手段と、前

記振動体が第1の軸方向に振動するときの振動幅を一定にするため、該位相補正手段から出力された補正信号を増幅することによって得られた駆動信号を前記振動体に出力する帰還増幅手段とによって構成したことにある。

【0016】このような構成としたことにより、位相補正手段、帰還増幅手段から出力される駆動信号が振動体に付加されると、振動体は第1の軸方向に一定の振動幅で振動し、この状態で第3の軸回りに角速度が加わると振動体は第2の軸方向に振動する。そして、信号出力手段から出力される変位信号は、振動体が第1の軸方向に振動するときの変位に応じた信号と、第3の軸回りに角速度が加わったときに振動体が第2の軸方向へ振動するときの変位に応じた信号とを含んでいるから、振動体が第2の軸方向に変位するときの信号によって角速度を計測することができる。

【0017】また、第1、第2の軸方向に振動する振動体は、第1の軸方向に共振状態で振動する振動側固有振動数と、第2の軸方向に共振状態で振動する検出側固有振動数とを有している。そこで、位相補正手段は、例えば駆動信号に対する変位信号の位相差をほぼ（-90°）にする。即ち、変位信号の位相よりも（90°）進んだ位相の駆動信号を出力すると、振動体を第1の軸方向に向けて振動側固有振動数にほぼ等しい周波数で振動し、振動体は共振状態で自励振動する。

【0018】さらに、帰還増幅手段は、振動体が第1の軸方向に振動するときの振動幅を一定にする駆動信号を振動体に出力するから、周囲温度等が変化して振動体の固有振動数が変化した場合でも、振動体の振動幅を一定にすることができ、第3の軸回りに加わる角速度の検出感度を安定させることができる。

【0019】請求項2の発明は、位相補正手段から出力される補正信号を、振動体を第1の軸方向に共振状態で振動させるため、駆動信号に対する変位信号の位相差をほぼ（-90°）の基準位相差に設定したことにある。

【0020】このように構成したことにより、位相補正手段は、駆動信号と変位信号との位相差が、基準位相差（ほぼ-90°）となるように位相を補正した補正信号を出力し、この補正信号が帰還増幅手段を通して新たな駆動信号となって振動体に出力される。このため、新たな駆動信号を受けて振動する振動体は、第1の軸方向に共振状態で振動する。

【0021】請求項3の発明は、振動体を、第1の軸方向に共振状態で振動する振動側固有振動数と、第2の軸方向に共振状態で振動する検出側固有振動数とを有し、位相補正手段から出力される補正信号を、前記振動体を第2の軸方向に共振状態で振動させるため、振動側固有振動数が検出側固有振動数に等しいときには前記位相差をほぼ（-90°）の基準位相差に設定し、振動側固有振動数が検出側固有振動数よりも高いときには前記位相差を（-90°+α°）の基準位相差に設定し、振動側

固有振動数が検出側固有振動数よりも低いときには前記位相差を $(-90^\circ - \alpha^\circ)$ の基準位相差に設定したことにある。

【0022】このように構成したことにより、位相補正手段は、駆動信号と変位信号との位相差が、振動体の振動側固有振動数と検出側固有振動数との高低関係から設定される基準位相差になるように位相を補正した補正信号を出力し、この補正信号が帰還増幅手段を通して新たな駆動信号となって振動体に出力される。このため、新たな駆動信号を受けて振動する振動体は、第1の軸方向に検出側固有振動数にほぼ等しい周波数で振動する。この状態で、第3の軸回りに角速度が加わって振動体が第2の軸方向に振動すると、該振動体は第2の軸方向に共振状態で振動する。

【0023】請求項4の発明は、帰還増幅手段を、信号出力手段から出力される変位信号を整流した整流信号を出力する整流手段と、該整流手段から出力される整流信号と予め設定された基準信号とを比較し、これらの信号に対応した増幅率制御信号を出力する制御信号出力手段と、該制御信号出力手段から出力される増幅率制御信号を受けて増幅率を制御し、位相補正手段から出力される補正信号の振幅を調整した駆動信号を出力する増幅制御手段とから構成したことにある。

【0024】このように構成したことにより、位相補正手段から出力される補正信号を、帰還増幅手段を通して駆動信号として振動体に出力することにより、振動体を共振状態で一定の振幅をもって振動させることができる。これにより、周囲温度が変化した場合でも、振動体の振幅を一定に保ち、検出感度を安定させることができる。

【0025】請求項5の発明は、信号出力手段の次段に、該信号出力手段から出力される変位信号を同期検波することにより変位信号中の角速度に応じた角速度信号のみを出力する角速度信号出力手段を設ける構成としたことにある。

【0026】このように構成したことにより、角速度信号出力手段は、変位信号を同期検波することにより、変位信号中の角速度に応じた角速度信号のみを出力し、第3の軸回りに加わる角速度を検出することができる。

【0027】請求項6の発明は、信号出力手段から出力される変位信号を、第1の軸方向に振動するときの振動体の変位に対応したモニタ信号と第2の軸方向に振動するときの振動体の変位に対応した角速度信号とを含んでいる。

【0028】このように構成したことにより、信号出力手段は、振動体が第1の軸方向へ振動するときの変位をモニタ信号とし、振動体が第2の軸方向へ振動するときの変位を角速度信号とし、モニタ信号と角速度信号とを合わせた変位信号を出力することができる。そして、変位信号中の角速度信号のみを出力することにより、第3

の軸回りに加わる角速度を計測することができる。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る角速度計測装置の実施の形態を、図1ないし図12を参照しつつ詳細に説明する。

【0030】まず、第1の実施の形態による角速度計測装置を図1ないし図7に基づいて説明する。本実施の形態による角速度計測装置は、後述する角速度検出器1と、該角速度検出器1に接続された帰還用移相器22、帰還増幅部24、角速度検出部28等によって構成されている。

【0031】ここで、図2ないし図4を用いて、本実施の形態に用いられる角速度検出器1について説明する。

【0032】2は角速度検出器1の基台をなす矩形形状に形成された基板で、該基板2は例えばガラス材料によって形成されている。

【0033】3は基板2上にP、S、Sb等がドーピングされた低抵抗なポリシリコン、単結晶シリコン等によって形成された可動部で、該可動部3は基板2の四隅に位置して該基板2上に設けられた4個の支持部4と、基端側が該支持部4に設けられ、先端側が基板2の中央部に向けて伸長する4本の支持梁5と、該各支持梁5の先端側に支持され、各支持梁5によって、第1の軸（以下、X軸という）方向と第2の軸（以下、Y軸という）方向に振動可能に設けられた振動体6とからなり、該振動体6の直交する2辺には、後述する可動側振動電極7と可動側検出電極8とがそれぞれ設けられている。また、可動部3は各支持部4のみが基板2上に固着され、各支持梁5と振動体6は基板2と離間した状態にある。

【0034】ここで、振動体6は、4本の支持梁5によって基板2上に支持されている。また、図3に示すように、各支持梁5は、各支持部4からそれぞれ1本ずつ伸長し、X軸と平行になる部分とY軸と平行になる部分を有する略コ字状に屈曲して形成されている。これにより、各支持梁5は、X軸に平行な部分が撓むことにより、振動体6をY軸方向に変位させ、Y軸に平行な部分が撓むことにより、振動体6をX軸方向に変位させる。従って、各支持梁5によって、振動体6は基板2に対してX軸、Y軸方向に振動可能に支持されている。

【0035】また、各支持梁5のうち振動体6をX軸方向に振動させる部位と振動体6とは、X軸方向へ振動する振動系を構成し、この振動系は支持梁5のばね定数と振動体6の質量によって設定される振動側固有振動数 f_1 を有している。一方、各支持梁5のうち振動体6をY軸方向に振動させる部位と振動体6とは、Y軸方向へ振動する検出系を構成し、この検出系は支持梁5のばね定数と振動体6の質量によって設定される検出側固有振動数 f_2 を有している。

【0036】7は振動体6の右側の辺に設けられた可動側振動電極で、該可動側振動電極7は振動体6の一辺に

所定間隔毎に形成され、X軸方向に延びる例えば4個の電極板7Aによってくし状に形成され、該可動側振動電極7は後述する固定側振動電極10と共に振動発生部13を構成している。

【0037】8は振動体6の前側の辺に設けられた例えば4個のアンテナ状電極からなる可動側検出電極で、該可動側検出電極8は、振動体6の一辺に所定間隔毎に形成され、Y軸方向に延びる例えば4本の支柱8Aと、該各支柱8Aの片側に列設されたX軸方向に延びる例えば3個の電極板8Bとからなっている。また、該可動側検出電極8は、後述する固定側検出電極12と共に変位検出部14を構成している。

【0038】9は振動用固定部で、該振動用固定部9は可動側振動電極7に対向する基板2上に設けられている。そして、該振動用固定部9の長辺にはくし状の固定側振動電極10が設けられ、該固定側振動電極10は、可動側振動電極7の各電極板7Aと等しい離間寸法 d_0 をもって交互に対面するように、振動用固定部9に突出形成された例えば4個の電極板10Aからなる。

【0039】11は検出用固定部で、該検出用固定部11には可動側検出電極8に対向する基板2上に設けられている。そして、該検出用固定部11には、例えば4個のアンテナ状電極からなる固定側検出電極12が設けられ、該固定側検出電極12は、検出用固定部11の長辺に所定間隔毎に形成され、Y軸方向に延びる例えば4本の支柱12Aと、可動側検出電極8の各電極板8Bと離間寸法 d_1 、 d_2 をもって交互に対面するように、該各支柱12Aの片側に突出形成された例えば3個の電極板12Bとによって構成されている(図4参照)。

【0040】13は振動体6を矢示a方向に振動させる振動発生部で、該振動発生部13は可動側振動電極7と固定側振動電極10とによって構成され、該可動側振動電極7の各電極板7Aと、固定側振動電極10の各電極板10Aとの間にはそれぞれ等しい離間寸法 d_0 が形成されている。ここで、振動発生部13は、パルス波または正弦波等の駆動信号VAを受けて電極板7A、10A間に静電引力を断続的に発生させ、振動体6をX軸方向に振動させるものである。

【0041】14は信号出力手段としての変位検出部で、該変位検出部14は、可動側検出電極8と固定側検出電極12とによって構成されている。また、図4に示すように、振動体6が変位していない初期時には、変位検出部14の隣り合う電極板8B、12Bは、その有効面積が S_0 となり、電極板8B、12Bは、隙間の狭い離間寸法 d_1 と隙間の広い離間寸法 d_2 とが互いに位置した状態となる。

【0042】ここで、変位検出部14は、隙間の狭い離間寸法 d_1 のみが平行平板コンデンサとして構成されている。これにより、変位検出部14は、振動発生部13に駆動信号VAを供給して振動体6がX軸方向に振動し

ているときには、隣り合う電極板8B、12Bの有効面積 S_0 が変化するから、振動体6のX軸方向の変位を静電容量によるモニタ信号として出力する。

【0043】また、振動体6は、第3の軸(以下、Z軸という)回りに角速度 Ω が加わったときには、コリオリ力を受けてY軸方向に振動する。このため、変位検出部14は、電極板8B、12Bの離間寸法 d_1 が変化するから、振動体6のY軸方向の変位を静電容量による角速度信号として出力する。このように、変位検出部14から出力される変位信号VBは、振動体6がX軸方向に振動するときの変位に対応したモニタ信号と、振動体6がY軸方向に振動するときの変位に対応した角速度信号とを含んだ信号となっている。

【0044】なお、本実施の形態では、角速度信号はモニタ信号に比べて十分小さい(例えば、 $1/100$ 程度以下)ため、変位信号VBをモニタ信号とみなしている。

【0045】本実施の形態による角速度検出器1は、上述した如くに構成され、次にZ軸回りに角速度 Ω を加えた場合の基本的な検出動作について説明する。

【0046】まず、振動発生部13に駆動信号VAを供給すると、各電極板7A、10A間の静電引力が断続的に作用し、振動体6はX軸方向となる矢示a方向に振動する。

【0047】この状態で、Z軸回りに角速度 Ω が加わると、Y軸方向に下記の数2に示すコリオリ力F(慣性力)が発生し、このコリオリ力Fによって、振動体6はY軸方向に振動する。

【0048】

【数2】 $F = 2m\Omega v$

m: 振動体6の質量

Ω : 角速度

v: 振動体6のX方向の速度

【0049】また、変位検出部14は、X軸方向(矢示a方向)に振動する振動体6の変位に対応したモニタ信号と、Y軸方向(矢示F方向)に振動する振動体6の変位に対応した角速度信号とを含んだ変位信号VBを出力する。

【0050】ここで、一般に振動体6がX軸方向に共振状態で振動しているときには、振動発生部13に供給する駆動信号VAに対して変位検出部14から出力される変位信号VBの位相差が(-90°)になること、即ち駆動信号VAの位相よりも変位信号VBの位相が(90°)遅れることが知られている(図5参照)。また、変位信号VBに含まれる角速度信号の位相は、該変位信号VB(モニタ信号)の位相よりも(90°)遅れることも知られている。

【0051】また、角速度検出器1は、基板2に設けられたカバー(図示せず)によって密閉状態で覆われ、該基板2とカバーによって画成される空間内をほぼ真空状

態としている。これにより、振動体6が振動するとき、共振の鋭さを表すQ値を1000~5000に高めることができる。

【0052】次に、図1に基づいて、角速度検出器1を制御するための周辺回路について説明する。

【0053】21は変位検出部14の出力側に接続された容量-電圧変換回路で、該容量-電圧変換回路21は、電界効果型トランジスタ等の電子部品によって構成され、変位検出部14から出力される静電容量を電圧値に変換するものである。これにより、容量-電圧変換回路21は、モニタ信号と角速度信号とを含んだ変位信号VBを、後述する帰還用移相器22と増幅回路23に向けて出力するものである。

【0054】22は位相補正手段としての帰還用移相器で、該帰還用移相器22は、変位信号VBを受けて、該変位信号VBの位相差を基準位相差（例えば、 -90° ）に補正するため、駆動信号VAの位相を進め、遅らせる補正信号VCを後述する帰還増幅部24のAGC27に出力するものである。例えば、図6に示すように、駆動信号VAに対する変位信号VBの位相差が $(-90^\circ + \theta^\circ)$ であった場合には、帰還用移相器22は、位相を $(+\theta^\circ)$ とした補正信号VCを出力する。このように、補正信号VCは、変位信号VBの位相に対して駆動信号VAの位相をほぼ (90°) 進ませる信号である。

【0055】23は容量-電圧変換回路21の次段に接続された増幅回路で、該増幅回路23は、容量-電圧変換回路21から出力される変位信号VBを増幅した変位信号VBを出力するものである（便宜上、同じ記号を使用）。

【0056】24は振動発生部13の入力側に接続された帰還増幅手段としての帰還増幅部で、該帰還増幅部24は、容量-電圧変換回路21から増幅回路23を経由して出力される変位信号VBを全波整流した整流信号VDに変えて出力する整流手段としての全波整流回路25と、該全波整流回路25から出力される整流信号VDを平滑化した平滑信号VD'と予め設定された基準信号Vreとを比較し、これらの信号に対応した増幅率制御信号VEを出力する制御信号出力手段としての比較器26と、該比較器26から出力される増幅率制御信号VEを受けて増幅率を制御し、帰還用移相器22から出力される補正信号VCの振幅を調整した駆動信号VAを出力する増幅制御手段としての自動利得制御回路27（以下、AGC27という）とにより構成されている。

【0057】28は角速度信号出力手段としての角速度検出部で、該角速度検出部28は、増幅回路23で増幅した変位信号VBを受けて、該変位信号VBの位相を (90°) 遅らせた同期信号VF（参照信号VF'）を出力する検出用移相器29と、前記増幅回路23から出力される変位信号VBを、検出用移相器29から出力さ

れる参照信号VF'で同期検波して角速度信号VGを出力する同期検波回路30と、該同期検波回路30の出力側に接続されたローパスフィルタ回路31（以下、LPF31という）と、該LPF31の出力側に接続され、オフセット補償を行う増幅回路32とにより構成されている。そして、増幅回路32から出力される出力信号VHは、角速度検出器1のZ軸回りに加わる角速度 Ω に対応する。

【0058】また、33はスタート回路で、該スタート回路33は、振動体6に振動を与えるために必要な信号を、起動時のみに振動発生部13に付加するものである。

【0059】本実施の形態による角速度計測装置は、振動発生部13に付加される駆動信号VAの位相を、変位信号VBの位相に対してほぼ (90°) 進ませる構成としているから、振動体6がX軸方向へ振動するとき、その振動を振動側固有振動数f1で自ら振動を起こさせるようにしている（以下、自励振動という）。これにより、振動体6は、共振状態となって大きな振動幅で矢示a方向に振動する。

【0060】次に、角速度計測装置の動作を、図5ないし図7に示す特性線を参照しつつ説明するに、始めに振動体6を矢示a方向に共振状態で振動させるときの動作について述べる。

【0061】まず、振動体6を振動させるために、スタート回路33からは例えばパルス信号を振動発生部13に供給し、振動体6を矢示a方向に振動させる。これにより、振動体6は、任意の周波数（振動側固有振動数f1とは限らない）で振動する。

【0062】このとき、変位検出部14は、矢示a方向の振動体6の変位に対応した変位信号VBを、容量-電圧変換回路21を経由して帰還用移相器22に出力する。そして、変位信号VBの周波数は、振動体6が振動する任意の周波数とほぼ等しくなっている。

【0063】ここで、帰還用移相器22は、駆動信号VAに対する変位信号VBの位相差を、基準位相差（例えば、 -90° ）に補正する補正信号VCを出力するものである。即ち、帰還用移相器22は、図6に示すように、駆動信号VAに対する変位信号VBの位相差が $(-90^\circ + \theta^\circ)$ となったときには、変位信号VBの位相に対して駆動信号VAの位相を (90°) 進ませるために、駆動信号VAの位相を (θ°) 補正した補正信号VCをAGC27に出力する。そして、該AGC27は、後述する動作によって振幅が調整された新たな駆動信号VAを振動発生部13に出力する。

【0064】これにより、図5に示すように、補正信号VCに比例する新たな駆動信号VAに対する変位信号VBの位相差がほぼ (-90°) となる。この結果、駆動信号VAの周波数は徐々に振動体6の振動側固有振動数f1に近づき、振動体6の周波数も振動側固有振動数f

1 に収束する。このため、振動体6は振動側固有振動数 f_1 で自励振動するから、振動発生部13に付加される駆動信号VAを小さな振幅にできる。

【0065】次に、図7により振動発生部13に入力される駆動信号VAの振幅を調整する帰還増幅部24の動作について説明する。

【0066】まず、全波整流回路25は、増幅回路23を経由して入力された変位信号VBを受けて、この変位信号VBを全波整流した整流信号VDを比較器26に出力する。この比較器26は、整流信号VDを平滑化した平滑信号VD'と予め設定された基準信号Vreとを比較し、これらの信号に対応した増幅率制御信号VEをAGC27に出力する。さらに、AGC27は、増幅率制御信号VEを受けて増幅率を制御し、この増幅率によって、帰還用移相器22から出力される補正信号VCの振幅を調整した駆動信号VAとし、この駆動信号VAを振動発生部13に出力する。

【0067】即ち、比較器26に入力される基準信号Vreは、振動体6を矢示a方向に振動するときの振動幅を規制する値である。このため、比較器26は、平滑信号VD'が基準信号Vreよりも高い場合には、振動発生部13に供給される駆動信号VAの振幅を小さくする増幅率制御信号VEを出力し、平滑信号VD'が基準信号Vreよりも低い場合には、振動発生部13に供給される駆動信号VAの振幅を大きくする増幅率制御信号VEを出力するものである。

【0068】このように、帰還増幅部24は、変位信号VBの振幅から振動体6が矢示a方向に振動するときの振動幅を監視し、振動発生部13に供給される駆動信号VAの振幅を調整している。これにより、振動体6は、常に一定の振動幅をもって矢示a方向に振動する。

【0069】さらに、変位検出部14から出力される変位信号VB中の角速度信号を検出する角速度検出部28の動作について、図5、図6を参照しつつ述べる。

【0070】先に述べたように、振動体6の矢示F方向への変位は、矢示a方向の変位に対して(-90°)の位相差があるから、検出用移相器29は、増幅回路23を通して入力される変位信号VBの位相差を(-90°)で補正した同期信号VFに変換し、この同期信号VFから形成される参照信号VF'を同期検波回路30に出力する。この場合、検出用移相器29から出力される同期信号VFは、変位信号VBを反転させた信号となる。

【0071】また、参照信号VF'は、同期信号VFと零電圧値($V=0$)とを比較することにより、正のときにはプラス側のパルスをも有し、負のときにはマイナス側のパルスをも有するパルス波となる。さらに、同期検波回路30は、変位信号VBを参照信号VF'で同期検波することにより、変位信号VB中の角速度信号VGを全波整流した信号を出力する。そして、この角速度信号VG

はLPF31、増幅回路32を経由して出力信号VHとなり、この出力信号VHは角速度検出器1のZ軸回りに加わる角速度 Ω に対応したものとなる。

【0072】しかも、前述した如く、振動体6は帰還用移相器22によって矢示a方向に共振状態で大きな振動幅を持って振動しているから、Z軸回りに角速度 Ω が加わったときには、コリオリ力による矢示F方向の振動体6の変位を大きくすることができる。これにより、角速度検出部28から出力される出力信号VHを大きくして角速度 Ω の検出感度を高めることができる。

【0073】かくして、本実施の形態による角速度計測装置は、帰還用移相器22、帰還増幅部24によって、振動発生部13に供給される駆動信号VAの周波数を、振動側固有振動数 f_1 にほぼ一致させることができ、振動体6を矢示a方向に向けて振動側固有振動数 f_1 で自励振動させることができる。これにより、経時劣化、温度変化等により振動体6の振動側固有振動数 f_1 が変化した場合であっても、駆動信号VAの周波数を、この変化した振動側固有振動数 f_1 に近づけることができ、振動体6を常に共振状態で矢示a方向に振動させることができる。

【0074】また、帰還用移相器22は、駆動信号VAに対する変位信号VBの位相差をほぼ(-90°)に補正した補正信号VC(駆動信号VA)を出力するから、振動体6を振動側固有振動数 f_1 の周波数で共振振動させることができる。しかも、振動体6を共振状態で振動させることにより、振動発生部13に供給する駆動信号VAの振幅電圧を小さくすることができる。

【0075】さらに、帰還増幅部24は、振動体6が矢示a方向に振動するときの振動幅を常に一定にしているから、角速度 Ω の検出感度のばらつきを抑えて安定させることができ、角速度計測装置の信頼性を高めることができる。

【0076】次に、第2の実施の形態を、図8ないし図12を参照しつつ説明するに、本実施の形態の特徴は、第3の軸(Z軸)回りに角速度が加わったときに第2の軸方向(Y軸方向)に振動するときの振動体を、共振状態で振動させる構成としたことにある。なお、本実施の形態では、前述した第1の実施の形態と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。

【0077】41は帰還用移相器22に代えて用いられる可変移相器で、該可変移相器41は、駆動信号VAと変位信号VBとの位相差を基準位相差(例えば、 $-90^\circ \pm \alpha^\circ$)に補正するため、駆動信号VAの位相を補正した補正信号VC'を帰還増幅部24のAGC27に出力するものである。但し、 α は、 $\alpha \geq 0$ である。また、前記基準位相差は、後述する角速度検出器1の個々の特性から得られる既知のデータを用いて設定されるものである。

【0078】ここで、図9ないし図11は、可変移相器

41の基準位相差を設定するのに用いられる既知のデータで、これらは、角速度検出器1が有する特性を示している。即ち、図9ないし図11は、横軸に周波数、縦軸に変位量、位相差(°)を採ることにより、振動側固有振動数 f_1 による周波数特性、検出側固有振動数 f_2 による周波数特性、振動体6が矢示a方向に振動するとき、駆動信号VAと変位信号VBとの位相差による周波数特性を記載したものである。

【0079】まず、図9は、振動側固有振動数 f_1 と検出側固有振動数 f_2 とが等しい場合の特性で、基準位相差をほぼ (-90°) に設定したとき、即ち変位信号VBの位相よりも駆動信号VAの位相を (90°) 進ませたときには、振動体6が矢示a方向に共振状態で振動し、矢示F方向にも共振状態で振動する。

【0080】また、図10は、振動側固有振動数 f_1 が検出側固有振動数 f_2 よりも高い場合の特性で、基準位相差を (-90°) に設定したときには、振動体6が矢示a方向に振動するときに共振状態になる。一方、基準位相差を $(-90^\circ + \alpha^\circ)$ に設定したときには、振動体6が矢示a方向に検出側固有振動数 f_2 で振動する。このとき、振動体6の変位量は、振動側固有振動数 f_1 で振動する場合に比べて低下するから、振動体6の振幅も小さくなる。そして、Z軸回りに角速度 Ω が加わったときには、振動体6は、矢示F方向に共振状態で振動する。

【0081】さらに、図11は、振動側固有振動数 f_1 が検出側固有振動数 f_2 よりも低い場合の特性で、基準位相差をほぼ (-90°) に設定したときには、振動体6が矢示a方向に振動するときに共振状態になる。一方、基準位相差を $(-90^\circ - \alpha^\circ)$ に設定したときには、振動体6が矢示a方向に検出側固有振動数 f_2 で振動し、振動体6の振幅は小さくなる。

【0082】このように、予め角速度検出器1の特性が、例えば図10に示すような特性の場合には、位相差による周波数特性と検出側固有振動数 f_2 との交点にあたる $(-90^\circ + \alpha^\circ)$ を可変移相器41の基準位相差として設定する。

【0083】これにより、可変移相器41は、駆動信号VAに対する変位信号VBの位相差を基準位相差となる $(-90^\circ + \alpha^\circ)$ に補正した補正信号VC'をAGC27に出力するものである。

【0084】次に、本実施の形態による角速度計測装置を、振動体6を矢示a方向に検出側固有振動数 f_2 で振動させるときの動作について述べる。但し、角速度検出器1は、図10による特性を有するものとする。

【0085】まず、振動体6を振動させるために、スタート回路33は、例えばパルス信号を振動発生部13に供給し、振動体6を矢示a方向に任意の周波数で振動させる。このとき、変位検出部14は、矢示a方向の振動体6の変位に対応した変位信号VBを容量-電圧変換回

路21を経由して可変移相器41に出力する。そして、変位信号VBの周波数は、振動体6が振動する任意の周波数とはほぼ等しくなっている。

【0086】ここで、可変移相器41は、駆動信号VAに対する変位信号VBの位相差を、基準位相差(例えば、 $-90^\circ + \alpha^\circ$)とするための補正信号VCをAGC27に出力する。そして、AGC27は、振幅が一定の大きさに調整された新たな駆動信号VAを振動発生部13に出力する。

【0087】このとき、駆動信号VAと変位信号VBとの位相差が $(-90^\circ + \alpha^\circ)$ のときには、振動体6が振動側固有振動数 f_1 よりも低い周波数で振動し、位相差が $(-90^\circ - \alpha^\circ)$ のときには、振動体6が振動側固有振動数 f_1 よりも高い周波数で振動する。

【0088】このため、新たな駆動信号VAに対する変位信号VBの位相差は、 (-90°) から $(-90^\circ + \alpha^\circ)$ となるから、振動体6は矢示a方向に向けて振動側固有振動数 f_1 よりも低い周波数で振動する。この結果、駆動信号VAの周波数は、徐々に振動側固有振動数 f_1 よりも低い検出側固有振動数 f_2 に近づき、振動体6の周波数も検出側固有振動数 f_2 に収束する。これにより、振動体6は、振動側固有振動数 f_1 で振動するときに比べて振幅が小さくなるものの、矢示a方向に向けて検出側固有振動数 f_2 で自励振動する。

【0089】かくして、実施の形態による角速度検出器1は、振動体6を矢示a方向に向けて小さな振幅で振動させるものの、検出側固有振動数 f_2 で自励振動する。これにより、Z軸回りに角速度 Ω が加わると、コリオリ力によって、振動体6は矢示F方向に向けて検出側固有振動数 f_2 で共振状態で振動する。このため、角速度 Ω に対して振動体6を大きな振幅で振動させることができるから、角速度 Ω の検出感度を高めることができる。

【0090】一方、図9ないし図11に示すような特性が未知の角速度検出器1の場合には、図12の変形例に示すように、可変移相器41に代えて可変移相発生器51を接続し、回転盤等の上に角速度計測装置を載置し、実際の角速度に対する位相差のデータを記録し、図9ないし図11のような特性を得ることもできる。なお、前記可変移相発生器51の範囲は $(-90^\circ \pm 45^\circ)$ の範囲でよい。

【0091】このように、可変移相発生器51によって得られた角速度検出器1の特性から、可変移相器41の基準位相差を設定することにより、前述した如く、振動体6を矢示a方向に向けて検出側固有振動数 f_2 で振動させ、矢示F方向の振幅を大きくして検出感度を高めることができる。

【0092】なお、各実施の形態では、変位検出部14を矢示a方向に振動するときのモニタ信号と、矢示F方向に振動するときの角速度信号を同時に検出する構成と

して述べたが、本発明はこれに限らず、モニタ信号と角速度信号とを別個に検出する変位検出部を信号出力手段として用いてもよい。

【0093】また、第1の実施の形態では、振動体6の一辺に振動発生部13、他辺に変位検出部14を設けるようにしたが、本発明はこれに限らず、振動体6の対向する両辺に振動発生部13を設けるようにしてもよく、変位検出部14も振動体6の対向する両辺に設けるようにしてもよい。

【0094】

【発明の効果】以上詳述した如く、請求項1の発明によれば、振動体を共振状態で振動させるため、駆動信号に対する変位信号の位相差を補正し補正信号を出力する位相補正手段と、位相補正手段から出力される補正信号を増幅することによって得られた駆動信号を振動体に出力する帰還増幅手段とを設けているから、位相補正手段から出力される補正信号によって、角速度検出器の振動体を共振状態で大きな振幅をもって振動させることができる。また、帰還増幅手段は、周囲温度の変化等によって振動体の固有振動数が変化した場合でも、振動体の振幅を一定にし、角速度の検出感度を安定させることができ、信頼性を高めることができる。

【0095】請求項2の発明は、位相補正手段から出力される補正信号を、振動体を第1の軸方向に振動させるため、駆動信号に対する変位信号の位相差をほぼ (-90°) の基準位相差に設定したから、第1の軸方向に振動するとき振動体を固有振動数で振動させ、角速度の検出感度を向上させることができる。

【0096】請求項3の発明は、位相補正手段から出力される補正信号を、駆動信号に対する変位信号の位相差を、振動体が第2の軸方向に共振状態で振動させるため、振動側固有振動数が検出側固有振動数に等しいときには前記位相差をほぼ (-90°) の基準位相差に設定し、振動側固有振動数が検出側固有振動数よりも高いときには前記位相差を $(-90^\circ + \alpha^\circ)$ の基準位相差に設定し、振動側固有振動数が検出側固有振動数よりも低いときには前記位相差を $(-90^\circ - \alpha^\circ)$ の基準位相差に設定している。これにより、振動体を第1の軸方向に検出側固有振動数で振動させることができる。このため、第3の軸回りに角速度が加わって振動体が第2の軸方向に振動するとき、該振動体は第2の軸方向に共振状態で振動させることができ、角速度の検出感度を高めることができる。

【0097】請求項4の発明は、位相補正手段から出力される補正信号を、帰還増幅手段を通して駆動信号として振動体に出力することにより、振動体を共振状態で一定の振幅をもって振動させることができる。これにより、周囲温度が変化した場合でも、振動体の振幅を一定に保ち、検出感度を安定させることができる。

【0098】請求項5の発明は、信号出力手段の次段

に、該信号出力手段から出力される変位信号を同期検波することにより変位信号中の角速度に応じた角速度信号のみを出力する角速度信号出力手段を設ける構成としたから、該角速度信号出力手段によって角速度信号のみを出力し、第3の軸回りに加わる角速度を検出することができる。

【0099】請求項6の発明は、信号出力手段から出力される変位信号は、振動体が第1の軸方向へ振動するときの変位をモニタ信号と、振動体が第2の軸方向へ振動するときの変位を角速度信号とを含んでいるから、変位信号中の角速度信号のみを出力することにより、第3の軸回りに加わる角速度を計測することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態による角速度計測装置を示す回路構成図である。

【図2】角速度検出器を示す斜視図である。

【図3】角速度検出器を示す平面図である。

【図4】角速度検出器の変位検出部を拡大して示す平面図である。

【図5】振動体がX軸方向に共振状態で振動しているときの、駆動信号、変位信号、補正信号、同期信号、参照信号、角速度信号、出力信号の波形を示す特性線図である。

【図6】振動体がX軸方向に共振状態からずれて振動しているときの、駆動信号、変位信号、補正信号、同期信号、参照信号、角速度信号、出力信号の波形を示す特性線図である。

【図7】振動体がX軸方向に共振状態で振動しているときの、駆動信号、変位信号、整流信号、平滑信号、補正信号、増幅率制御信号、駆動信号の波形を示す特性線図である。

【図8】第2の実施の形態による角速度計測装置を示す回路構成図である。

【図9】振動側固有振動数と検出側固有振動数が等しい場合の各固有振動数による周波数特性、位相差による周波数特性を示す特性線図である。

【図10】振動側固有振動数が検出側固有振動数よりも高い場合の各固有振動数による周波数特性、位相差による周波数特性を示す特性線図である。

【図11】振動側固有振動数が検出側固有振動数よりも低い場合の各固有振動数による周波数特性、位相差による周波数特性を示す特性線図である。

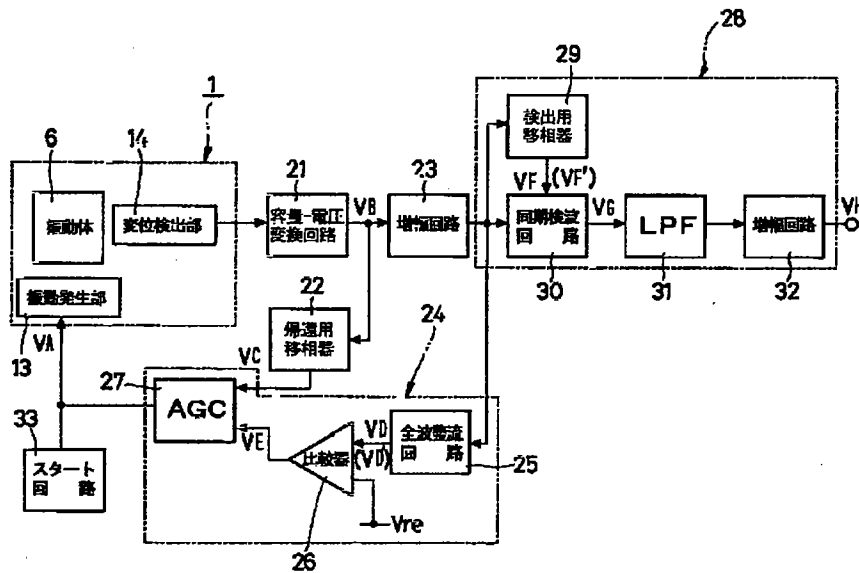
【図12】第2の実施の形態による角速度計測装置の変形例を示す回路構成図である。

【符号の説明】

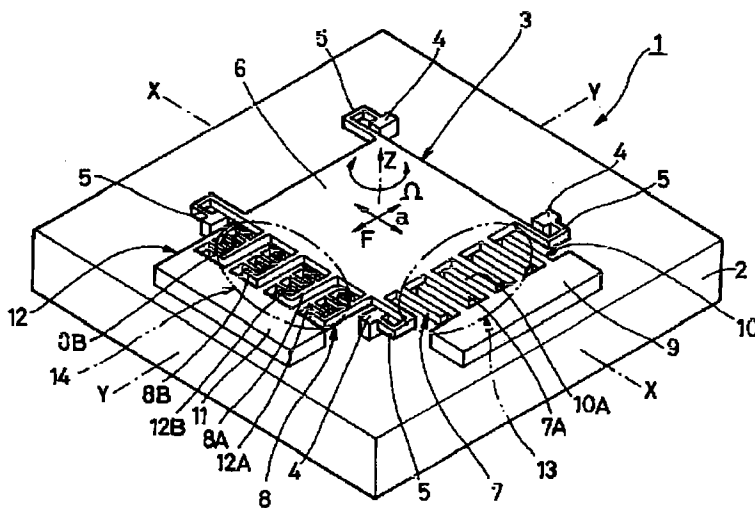
- 1 角速度検出器
- 2 基板
- 3 可動部
- 4 支持部
- 5 支持梁

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 6 振動体 | 27 自動利得制御回路(増幅制御手段) |
| 8 可動側検出電極 | 28 角速度検出部(角速度信号出力手段) |
| 12 固定側検出電極 | 29 検出用移相器 |
| 13 振動発生部 | 30 同期検波回路 |
| 14 変位検出部(信号出力手段) | 41 可変移相器(位相補正手段) |
| 22 帰還用移相器(位相補正手段) | 51 可変移相発生器 |
| 24 帰還増幅部(帰還増幅手段) | f1 振動側固有振動数 |
| 25 全波整流回路(整流手段) | f2 検出側固有振動数 |
| 26 比較器(制御信号出力手段) | |

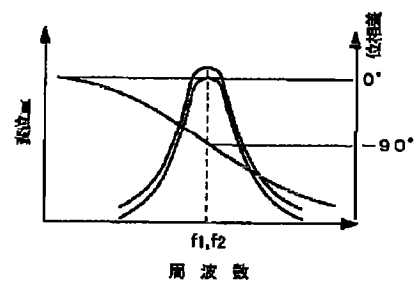
【図1】



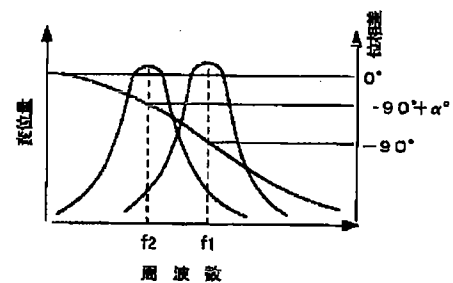
【図2】



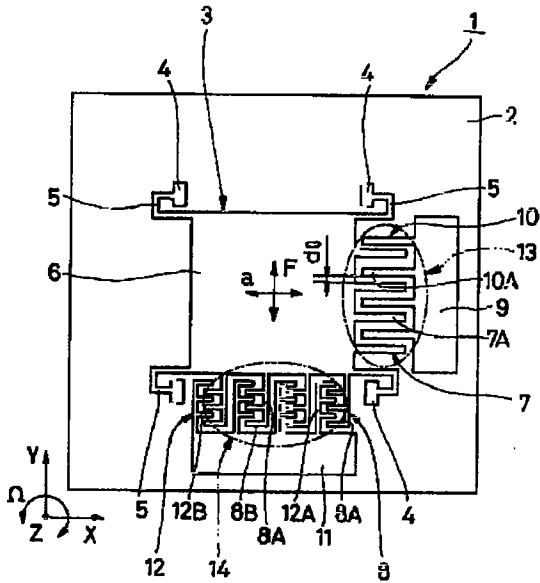
【図9】



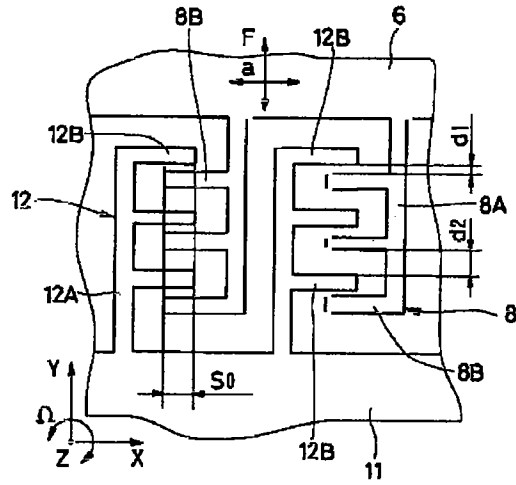
【図10】



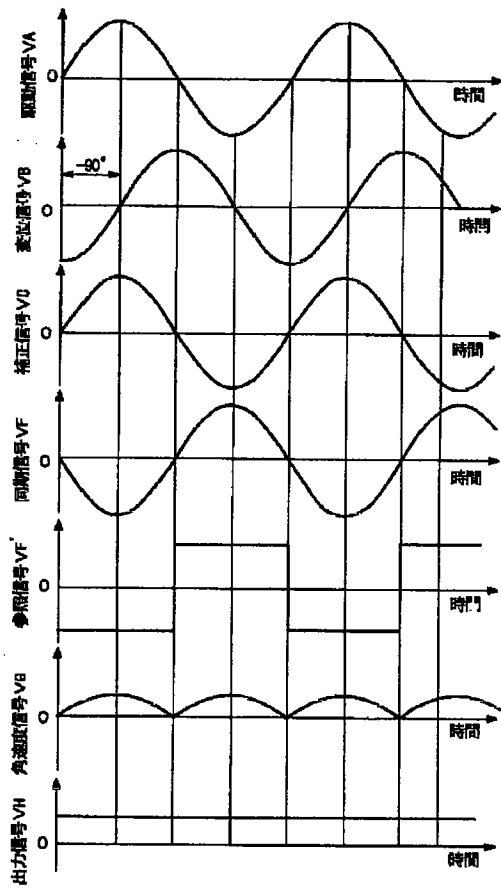
【図3】



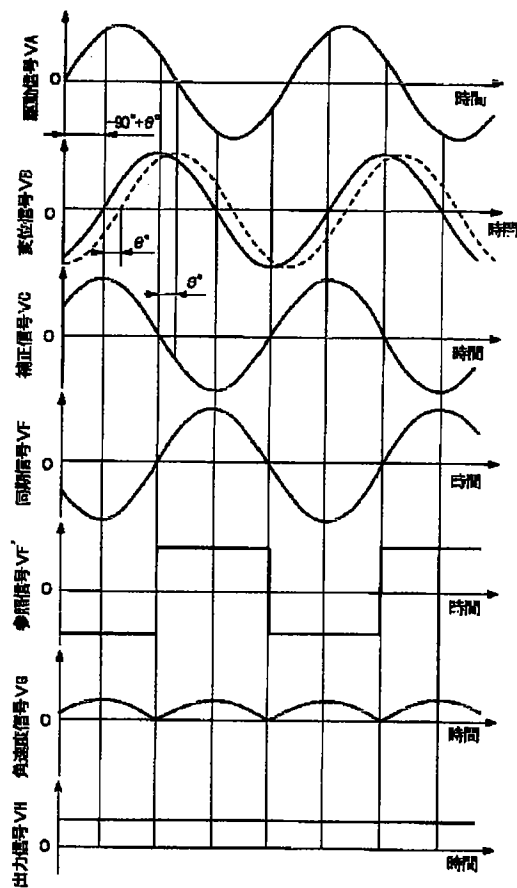
【図4】



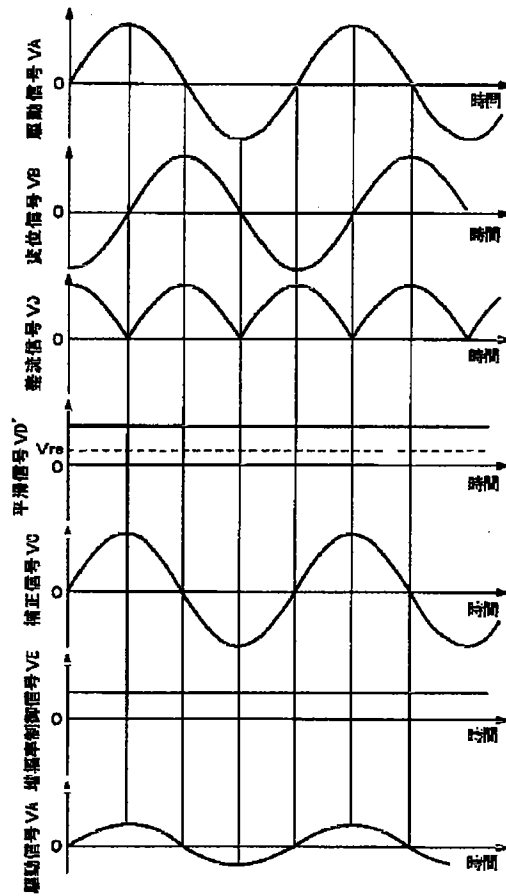
【図5】



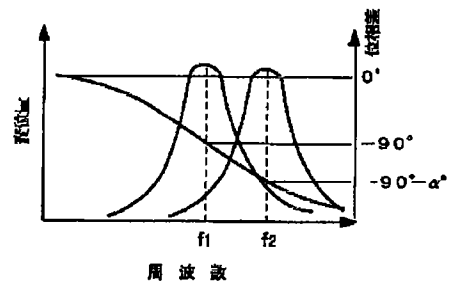
【図6】



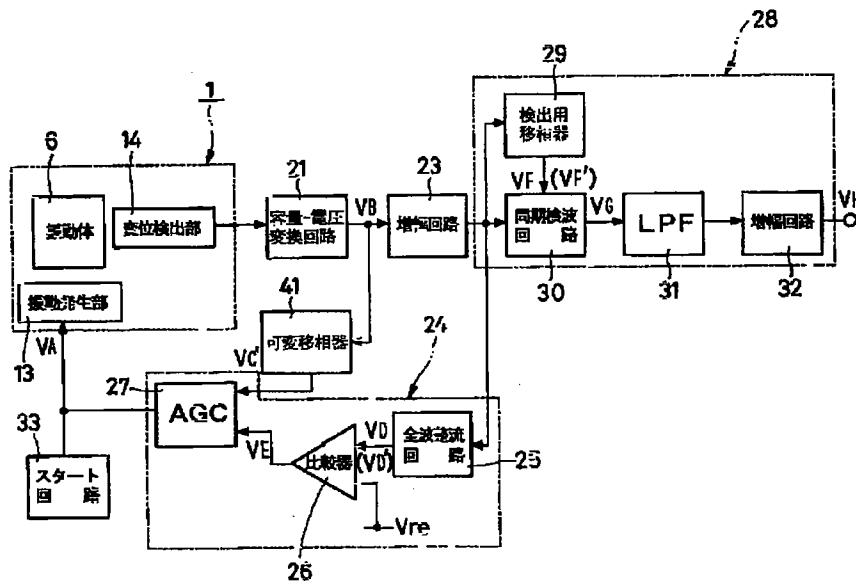
【図 7】



【図 11】



【図 8】



【図12】

